

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

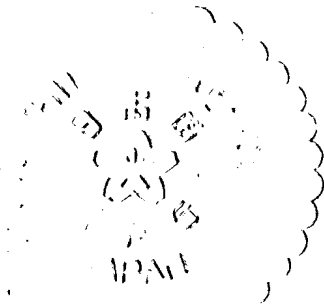
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 2 4 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 8 1 3 1 7
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 8 1 3 1 7]

出 願 人 富士写真フイルム株式会社
Applicant(s):

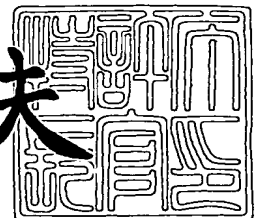
Eiji OGAWA
ULTRASONIC TRANSMITTING AND
March 22, 2004
Alan J. Kasper
(202) 293-7060
Q80556
1 of 1



2 0 0 3 年 9 月 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 2 0 6 9

【書類名】 特許願

【整理番号】 502072

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 A61B 8/00
G01H 9/00
G01S 15/02

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 小川 英二

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100100413

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡部 温

【選任した代理人】

【識別番号】 100110777

【弁理士】

【氏名又は名称】 宇都宮 正明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033189

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9909552

【包括委任状番号】 0000020

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【整理番号】 502072

【発明の名称】 超音波送受信装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 超音波を送信し、被検体から反射された超音波を受信する複数の超音波トランスデューサを含む超音波トランスデューサアレイと、

前記複数の超音波トランスデューサをそれぞれ駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生手段と、

前記複数の超音波トランスデューサから送信される超音波が少なくとも 1 つの方向に送信される送信ビームを形成するように、前記駆動信号発生手段を制御する送信制御手段と、

前記複数の超音波トランスデューサによって受信された超音波に基づいて得られた複数の検出信号に対して、少なくとも 1 つの方向に受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を施すことにより、受信ビームを形成する受信制御手段と、

送信ビームが送信される方向又は受信ビームの受信焦点が形成される方向である音線方向に従って、送信ビーム又は受信ビームを構成する複数の超音波成分の指向性を変化させる制御手段と、

を具備する超音波送受信装置。

【請求項 2】 前記制御手段が、前記超音波トランスデューサアレイの正面方向と前記音線方向との為す角度が小さくなるほど、前記超音波成分の指向性を強くする、請求項 1 記載の超音波送受信装置。

【請求項 3】 前記制御手段が、前記超音波成分を形成する際に同時に用いられる超音波トランスデューサの数を変化させることによって前記超音波成分の指向性を変化させる、請求項 1 又は 2 記載の超音波送受信装置。

【請求項 4】 前記制御手段が、前記超音波成分を形成する際に用いられる複数の駆動信号について重み付けを行う、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項記載の超音波送受信装置。

【請求項 5】 前記受信制御手段が、送信ビームが送信された少なくとも 1

つの方向について、複数の方向に受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を施す、請求項 1～4 のいずれか 1 項記載の超音波送受信装置。

【請求項 6】 前記受信制御手段が、送信ビームが送信された複数の方向について、複数の方向に受信焦点をそれぞれ形成するように受信フォーカス処理を施す、請求項 1～4 のいずれか 1 項記載の超音波送受信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波を送信し、超音波エコーを受信することにより超音波画像を得るために用いられる超音波送受信装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

図 13 の (a) は、従来の超音波送受信装置において一般的に用いられている超音波用探触子 100 の構造を示している。超音波用探触子 100 は、例えば、1 次元に配列された複数の超音波トランスデューサ 101 を含んでいる。超音波トランスデューサ 101 は、超音波を送信又は受信する素子であり、PZT (チタン酸ジルコン酸鉛：Pb(lead) zirconate titanate) に代表される圧電セラミックスや、PVDf (ポリフッ化ビニリデン：polyvinyl difluoride) に代表される高分子圧電素子等の圧電素子が用いられている。これらの超音波トランスデューサ 101 の両端には電極が形成されており、これらの電極は、パルサー等を含む駆動信号発生回路にそれぞれ接続されている。超音波トランスデューサ 101 に電圧を印加すると、圧電効果により圧電素子が伸縮して超音波を発生する。そこで、図 13 の (b) に示すように、所定の時間差を設けて複数の超音波トランスデューサ 101 を駆動することにより、それぞれの超音波トランスデューサ 101 から送信される球面波が合成され、所望の方向且つ所望の深度に焦点が形成された超音波ビームを送信することができる。

【0003】

ところで、超音波撮像においては、超音波ビームの送信時におけるサイドローブが問題となっている。指向性を有する超音波ビームを送信した場合に、音圧強

度の空間分布において、送信方向の中心軸近傍に発生する極大音圧領域はメインローブ（主極）と呼ばれ、それ以外の方向に現れる極大音圧領域はサイドローブ（副極）と呼ばれる。このサイドローブは、超音波トランスデューサの素子ピッチと超音波周波数との関係によって生じたり（グレーティングローブと呼ばれる）、不要振動によって生じる等、その要因は様々である。通常、超音波トランスデューサによって受信された超音波エコーは、メインローブ方向から伝搬してきたものとして信号処理される。そのため、サイドローブ成分が大きかったり、サイドローブ方向に強い反射体が存在する場合には、アーティファクト（虚像）が生じ、超音波画像の画質が低下してしまう。

【0004】

そのため、このような不要成分を抑制するために、様々な工夫が為されてきた。例えば、送信ビームの遅延精度を向上させたり、素子を微細化したり、開口径を大きくすることによってメインローブの形状を先鋭化することが行われている。或いは、アレイを形成する素子の強度分布をガウス分布で重み付け（ガウシアンアポダイゼーション）をしたり、波形の時間軸での重み付けをして超音波を送受信することも行われている。しかしながら、これらの手法には限界があり、まだ、十分なレベルまでサイドローブが低減されているとは言えない。また、超音波ビームを大きく傾けて送信する場合には、サイドローブ成分のレベルがさらに高くなり、これを軽減することがさらに困難になる。そのため、画質への影響が大きな問題になっている。

【0005】

特許文献1には、複数の超音波ビームを同時に送受信する際に、サイドローブの影響を低減するために、次のような技術が開示されている。即ち、1つの送信ビームに対して、複数の受信ビームを形成する方法や、複数の送信ビームの周波数を変えたり、バーカ（Barker）符号やゴレイ（Golay）符号等を用いて送信ビームを符号化することにより送信ビームを識別し、受信された超音波エコーとの相関を取る方法が挙げられている。また、メインローブとサイドローブとの間には、ナル（null）ラインと呼ばれる音圧がゼロとなる領域が存在するので、その領域に、別の超音波ビームのメインローブをアライメントする方法や、単に送信

ビーム間隔を離す方法、送信ビームの中心周波数をずらす方法も挙げられている。

【0006】

【特許文献1】

米国特許第6179780号明細書

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、超音波を送受信することによって超音波画像を取得する超音波送受信装置において、メインローブ以外の不要成分であるサイドローブ成分を低減することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するため、本発明に係る超音波送受信装置は、超音波を送信し、被検体から反射された超音波を受信する複数の超音波トランスデューサを含む超音波トランスデューサアレイと、複数の超音波トランスデューサをそれぞれ駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生手段と、複数の超音波トランスデューサから送信される超音波が少なくとも1つの方向に送信される送信ビームを形成するように、該駆動信号発生手段を制御する送信制御手段と、複数の超音波トランスデューサによって受信された超音波に基づいて得られた複数の検出信号に対して、少なくとも1つの方向に受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を施すことにより、受信ビームを形成する受信制御手段と、送信ビームが送信される方向又は受信ビームの受信焦点が形成される方向である音線方向に従って、送信ビーム又は受信ビームを構成する複数の超音波成分の指向性を変化させる制御手段とを具備する。

【0009】

本発明によれば、音線方向に応じて、超音波ビームを構成する超音波成分の指向性を制御するので、いずれの音線方向においてもサイドローブ成分が低減された超音波ビームを送受信することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、同一の構成要素には同一の参照番号を付して、説明を省略する。本願においては、送信又は受信される超音波ビームの成分の内、意図した方向に送信又は受信される成分（メインローブ）以外の成分、即ち、音響フロア、サイドローブ、グレーティングローブ等を含む成分のことをサイドローブ成分という。また、複数の超音波トランスデューサから位相を合わせて送信される超音波により、所定の方向に伝搬するように形成された送信ビームの伝搬方向、又は、複数の超音波トランスデューサにおいて受信された超音波エコーの検出信号を位相整合することにより、所定の方向から伝搬するように合成された受信ビームの伝搬方向のことを音線方向という。

【0011】

本実施形態に係る超音波送受信装置においては、送信ビーム及び受信ビームを形成する複数の超音波の各々について、指向性を制御することが行われている。一般に、指向性とは、超音波を送信又は受信する際の感度分布をいい、ある任意の方向に対して感度が高い状態を指向性が強いと表し、広範囲な方向に感度があることを指向性が弱いと表す。

まず、所定の方向に送信又は受信される超音波ビームを形成する複数の超音波の指向性とサイドローブとの関係について、図1～図4を参照しながら説明する。図1及び図3は、超音波を送受信することによって空間内の任意の焦点面に形成される音圧強度分布（以下、音圧強度プロファイルともいう）を示している。これらの音圧強度プロファイルは、2次元超音波トランスデューサアレイの構成要因、即ち、複数の超音波トランスデューサの数、配置、ピッチ、開口径等を含む開口条件と、波形パラメータとを固定し、任意の深さに焦点を形成するように設定したシミュレーションにより求められたものである。図1及び図3において、 θ 及び ϕ は音線の角度を示しており、角度 θ は、超音波トランスデューサアレイの送受信面と直交する第1の面に対する角度であり、角度 ϕ は、送受信面及び第1の面と直交する第2の面に対する角度である。

【0012】

図1は、2次元アレイを用いてアレイの中心軸方向、即ち、音線の角度が小さい方向に向けて超音波ビームを形成する場合における音圧強度プロファイルを示している。図1の(a)は、指向性の弱い超音波を発生する複数の超音波トランスデューサ（指向性の弱い素子）を用いた場合を示し、(b)は、指向性の強い超音波を発生する複数の超音波トランスデューサ（指向性の強い素子）を用いた場合である。図1に示すように、音線の角度が小さい方向へ超音波ビームを形成する場合には、指向性の強い素子を用いた方(b)が、全体的にサイドローブ成分が低く抑えられた音圧強度プロファイルが得られている。

【0013】

このように、超音波トランスデューサの指向性によって音圧強度プロファイルに差違が現れるのは、次のような理由による。

図2は、複数の素子を用いて超音波ビームを形成する原理を説明するための図である。円弧ARC1及びARC2は、複数の素子1a、1b、…、及び、2a、2b、…をそれぞれ駆動する駆動タイミングを模式的に示している。図2の(a)及び(b)に示すように、音線の角度が小さい方向へ超音波ビームUS1及びUS2を形成する場合には、複数の素子1a、1b、…、及び、2a、2b、…は、両端から中央に向けて順次駆動される。これにより、複数の超音波が発生し、それらの波面合成によって超音波ビームが形成される。

【0014】

図2には、破線と円弧ARC1又はARC2との接点から破線に引いた弦の長さによって、各素子から発生した超音波の音圧強度が表されるように、破線が示されている。

図2の(a)に示すように、指向性の弱い素子1a、1b、…から発生した超音波1a'、1b'、…は、概略球面波とみなすことができる。超音波1a'、1b'、…においては、各超音波から等方的に超音波成分が拡散する。そのため、素子1a、1b、…の配置に拘わらず、いずれの素子からもほぼ均一な大きさの成分US1a、US1b、…が、超音波ビームUS1の形成に寄与する。ここで、ベクトルUS1a、US1b、…は、発生した超音波1a'、1b'、…の内、超音波ビームUS1に寄与する成分を表している。しかしながら、それと共

に、超音波ビームUS1の寄与に関わらない成分、即ち、不要成分も等方的に拡散してしまう。

【0015】

一方、図2の(b)に示すように、指向性の強い素子2a、2b、…から発生した超音波2a'、2b'、…には、超音波トランスデューサアレイ面に垂直な方向の成分が多く含まれている。ここで、超音波ビームUS2の形成に寄与する成分は、US2a、US2b、…である。そのため、超音波トランスデューサアレイの中央付近に配置されている素子2c、2dから発生する超音波2c'、2d'においては、成分US2cやUS2dに示すように、そのほとんどの成分が、超音波ビームUS2の形成に寄与する。また、素子の配置が中央付近から離れるに従って、成分US2a、US2eで示すように、超音波ビームUS2に寄与する成分の大きさは次第に小さくなる。しかしながら、超音波ビームUS2の音線の角度が小さい場合には、超音波トランスデューサアレイの両端（例えば、素子2a及び2f）においても、該超音波ビームUS2の形成に寄与する成分US2a及びUS2fと、超音波2a'及び2f'の送信方向（各素子の垂線方向）との為す角度はそれほど大きくならないので、成分US2a及びUS2eの大きさが大幅に減少することはない。一方、指向性の強い素子2a、2b、…を用いた場合には、超音波2a'、2b'、…に含まれる成分の内、超音波ビームUS2の寄与に関わらない成分即ち、不要成分は小さくなる。

【0016】

図3は、音線の角度が大きい超音波ビームを送信する場合における音圧強度プロファイルを示している。図3の(a)は、指向性の弱い複数の素子を用いた場合を示し、(b)は、指向性の強い複数の素子を用いた場合を示している。図3より明らかなように、音線の角度が大きい方向へ超音波ビームを形成する場合には、指向性の弱い素子を用いた方(a)が、メインローブの音圧が大きい音圧強度プロファイルが得られている。

【0017】

図4は、複数の素子を用いて超音波ビームを形成する原理を説明するための図であり、円弧ARC3及びARC4は、複数の素子3a、3b、…、及び、4a

、4 b、…をそれぞれ駆動する駆動タイミングを模式的に示している。図4の（a）及び（b）に示すように、例えば、図の右方向に偏向された超音波ビームUS 3及びUS 4を形成する場合には、複数の素子3 a、3 b、…、及び、4 a、4 b、…は、左端から右端に向けて順次駆動される。

【0018】

図4の（a）に示すように、指向性の弱い素子3 a、3 b、…から球面波3 a'、3 b'、…を発生させる場合には、先にも述べたように、素子3 a、3 b、…の配置に拘わらず、いずれの素子からもほぼ均一な強さの成分が、超音波ビームUS 3の形成に寄与する。

一方、図4の（b）に示すように、指向性の強い素子4 a、4 b、…から発生した超音波4 a'、4 b'、…には、超音波トランスデューサアレイ面に垂直な方向以外の成分は僅かしか含まれていない。そのため、超音波ビームの音線の角度を大きくすると、僅かな成分しか超音波ビームUS 4の形成に寄与することができなくなる。従って、超音波ビームUS 4の形成に寄与しない不要成分は、相対的に多くなる。

【0019】

このように、超音波ビームの音線方向と超音波ビームを構成する複数の超音波成分の指向性との関係は、サイドローブの形成に大きな関わりがある。そのため、本実施形態においては、超音波ビームの音線方向に応じて、超音波の指向性を制御している。音線方向に対して指向性を任意に決めることはできるが、その効果、即ち、サイドローブを低減する効果を得るためには、両者を調整する必要があるからである。

【0020】

図5は、本発明の第1の実施形態に係る超音波送受信装置の構成を示すブロック図である。

超音波トランスデューサアレイ10は、例えば、2次元マトリクス状に配列された複数の超音波トランスデューサ（素子ともいう）を含んでおり、これらの超音波トランスデューサを電子的に制御することにより、被検体を電子的にスキャンすることができる。複数の超音波トランスデューサは、印加される駆動信号に

基づいて超音波ビームを送信すると共に、被検体から反射された超音波を受信して検出信号を出力する。これらの超音波トランスデューサは、例えば、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛：Pb(lead) zirconate titanate）に代表される圧電セラミックや、PVDf（ポリフッ化ビニリデン：polyvinyl difluoride）に代表される高分子圧電素子等の圧電性を有する材料（圧電素子）の両端に電極を形成した振動子によって構成される。このような振動子の電極に、パルス状の電気信号或いは連続波電気信号を送って電圧を印加すると、圧電素子は伸縮する。この伸縮により、それぞれの振動子からパルス状或いは連続的な超音波が発生し、これらの超音波の合成によって超音波ビームが形成される。また、それぞれの振動子は、伝搬する超音波を受信することによって伸縮し、電気信号を発生する。これらの電気信号は、超音波の検出信号として出力される。

【0021】

或いは、超音波トランスデューサとして、超音波変換方式の異なる複数種類の素子を用いても良い。例えば、超音波を送信する素子として上記の振動子を用い、超音波を受信する素子として光検出方式の超音波トランスデューサを用いるようにする。光検出方式の超音波トランスデューサとは、超音波信号を光信号に変換して検出するものであり、例えば、ファブリーペロー共振器やファイバブラッググレーティングによって構成される。

【0022】

本実施形態に係る超音波送受信装置は、走査制御部11と、送信遅延パターン記憶部12と、送信制御部13と、駆動信号発生部14と、送受信切換部15とを含んでいる。

走査制御部11は、送信及び受信される超音波ビームの音線方向を設定する。また、走査制御部11は、設定された方向に、所定の指向性を有する超音波成分によって構成される超音波ビームが送信及び受信されるように、超音波送受信装置の各部を制御する。

【0023】

送信遅延パターン記憶部12は、複数の素子に与えられる遅延時間が設定された複数の送信遅延パターンと、送信ビームを構成する複数の超音波成分の指向性

を制御するための複数のパターン（指向性制御パターン）とを記憶している。送信遅延パターン及び指向性制御パターンは、走査制御部 11 によって設定された音線方向に超音波ビームを送信する際に用いられる。超音波ビームを送信する際には、走査制御部 11 により、所定の指向性制御パターンが選択される。なお、指向性制御パターンについては、後で詳しく説明する。

【0024】

送信制御部 13 は、送信遅延パターン記憶部 12 に記憶されている複数の送信遅延パターンの中から、走査制御部 11 によって設定された音線方向に基づいて、所定の送信遅延パターンを選択する。また、送信制御部 13 は、選択された指向性制御パターン及び送信遅延パターンに基づいて、超音波トランスデューサアレイ 10 に含まれる複数の素子にそれぞれ与えられる遅延時間を設定する。

【0025】

駆動信号発生部 14 は、例えば、複数の素子にそれぞれ対応する複数のパルサーによって構成されている。複数のパルサーの各々は、送信制御部 13 によって設定された遅延時間に基づいて、駆動信号を発生する。これにより、設定された方向に向けて伝搬する送信ビームが形成される。

【0026】

送受信切換部 15 は、駆動信号発生部 14 における駆動信号の発生と、信号処理部 21 における検出信号の取り込みとを、走査制御部 11 の制御に従って所定のタイミングで切り替える。このように検出信号の読み取り時間帯を限定することにより、被検体の特定の深さから反射された超音波エコー信号を検出することができる。

【0027】

また、本実施形態に係る超音波送受信装置は、信号処理部 21 と、1 次記憶部 22 と、受信遅延パターン記憶部 23 と、受信制御部 24 と、2 次記憶部 25 と、画像処理部 26 と、表示部 27 とを含んでいる。

信号処理部 21 は、複数の素子にそれぞれ対応する複数のラインを含んでいる。信号処理部 21 の複数のラインの各々は、対応する素子から出力された検出信号を所定のタイミングで取り込み、対数増幅、検波、STC（センシティビティ

タイムコントロール)、フィルタ処理、A/D変換等の信号処理を行う。1次記憶部22は、信号処理部21において信号処理された検出信号を、ラインごとに時系列に記憶する。

【0028】

受信遅延パターン記憶部23は、複数の素子から出力された検出信号に与えられる遅延時間が設定された受信遅延パターンと、受信ビームを構成する複数の超音波成分の指向性を制御するためのパターンとを記憶している。受信遅延パターン及び指向性制御パターンは、受信された超音波反射信号(エコー信号)が所定の音線方向及び深さに受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を行う際に用いられる。超音波エコーを受信する際には、走査制御部11により、所定の指向性制御パターンが選択される。なお、指向性制御パターンについては、後で詳しく説明する。

【0029】

受信制御部24は、受信遅延パターン記憶部23に記憶されている受信遅延パターンの中から、走査制御部11において設定された音線方向に基づいて、所定の受信遅延パターンを選択する。また、受信制御部24は、選択された指向性制御パターン及び受信遅延パターンに基づいて、複数の素子からそれぞれ出力された複数の検出信号に遅延をかけ、それらを加算することにより、受信フォーカス処理を行う。これにより、設定された音線方向及び深さに焦点が絞り込まれた受信ビームを表す音線データが形成される。2次記憶部24は、受信制御部24において形成された音線データを記憶する。

【0030】

画像処理部26は、2次記憶部25に記憶されている音線データに基づいて、2次元又は3次元画像データを構成すると共に、それらの画像データに対して、ゲイン調整、コントラスト調整、階調処理、レスポンス強調処理、補間処理等の画像処理を行う。表示部27は、画像処理部26において画像処理された画像データを走査変換して超音波画像を表示する。表示部27は、例えば、CRTやLCD等のディスプレイ装置を含んでいる。

【0031】

次に、送信遅延パターン記憶部 12 及び受信遅延パターン記憶部 23 に記憶されている指向性制御パターンについて説明する。以下においては、超音波ビームを構成する複数の超音波成分の各々のことを、単位ビームという。

【0032】

図 6 は、指向性制御パターンについて説明するための図である。図 6 においては、超音波トランスデューサアレイ 10 の断面と、そこに含まれる複数の素子をそれぞれ駆動するタイミングが示されている。ここで、遅延パターン DT は、図中の矢印が示す方向に向けて超音波ビームを形成する場合に、それぞれの単位ビームに与えられる遅延時間を表している。

【0033】

指向性の最も弱い単位ビームを発生する場合には、1つの素子から単位ビームを発生すれば良い。そこで、この場合には、図 6 の (a) に示すように、超音波トランスデューサアレイ 10 に含まれる複数の素子 10a、10b、…を、遅延パターン DT に基づいて順次駆動する。これにより、それぞれの素子 10a、10b、…から球面波が発生する。以下において、このように素子を 1つずつ駆動することにより単位ビームを発生する方式のことを通常の駆動方式という。なお、通常の駆動方式は、一般的な電子セクタ方式の超音波トランスデューサアレイにおいて用いられている方式である。

【0034】

また、指向性の強い単位ビームを発生する場合には、複数の素子を同時に駆動することにより、実質的な素子の開口を大きくすれば良い。そこで、この場合には、図 6 の (b) に示すように、同時に駆動される複数の素子 10a、10b、…を予めグルーピングしておき、それぞれのグループを遅延パターン DT に基づいて順次駆動する。図 6 の (b) においては、各グループに 3つの素子 (10a、10b、10c)、(10b、10c、10d)、…が含まれるようにグルーピングされている。指向性を強くするためには、1つのグループに含まれる素子数を増やし、単位ビームの形成に寄与する素子の実質的な開口径を大きくすれば良い。その際に、隣接するグループにおいて素子 10a、10b、…を重複して用いることにより、単位ビームの間隔 (ピッチ) を通常の駆動方式におけるもの

と等しくすることができる。以下において、このように、単位ビームの間隔を変えることなく、素子の実質的な開口径を変えることにより単位ビームの指向性を制御する方式のことを、実効開口制御方式という。

【0035】

指向性制御パターンとは、このように複数の素子をグルーピングするパターンのことである。この指向性制御パターンは、音線の角度が小さいときには単位ビームの開口が広くなるように、また、音線の角度が大きいときには単位ビームの開口が狭くなるように、音線方向に対応づけられている。音線方向と指向性制御パターンとの対応付けは、音線の角度の応じて指向性制御パターンが段階的に変化するように行っても良いし、連続的に変化するように行っても良い。

【0036】

次に、本実施形態に係る超音波送受信装置の動作について説明する。図7は、本実施形態に係る超音波送受信装置の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップS1において、走査制御部11は、送信及び受信される超音波ビームの音線の角度を設定する。これにより、送信制御部13は、所定の指向性制御パターン及び送信遅延パターンに基づいて、駆動信号発生部14に遅延時間を設定する。

【0037】

ステップS2において、駆動信号発生部14が駆動信号を発生する。これにより、所定の指向性を有する複数の単位ビームが順次送信され、それらの単位ビームの波面合成により、ステップS1において設定された音線方向に関する超音波ビームが送信される。

【0038】

ステップS3において、送受信切換部15が切換えられ、超音波トランスデューサアレイ10は、超音波エコーを受信する。超音波トランスデューサアレイ10に含まれる複数の素子の各々は、受信した超音波エコーに基づいて電気信号（検出信号）を発生する。

【0039】

ステップS4において、信号処理部21は、複数の素子からそれぞれ出力され

た検出信号に対して、対数増幅、S T C、フィルタ処理、A/D変換等の信号処理を施す。ステップS 5において、信号処理された検出信号（デジタルデータ）は、1次記憶部22にラインごとに順次記憶される。

【0040】

ステップS 6において、受信制御部24は、ステップS 1において設定された音線方向に対応する指向性制御パターン及び受信遅延パターンに基づいて、1次記憶部22に記憶されている検出信号について受信フォーカス処理を行う。これにより、ステップS 1において設定された音線方向に関する受信ビームを表す音線データが形成される。ステップS 6において形成された音線データは、2次記憶部25に記憶される（ステップS 7）。

【0041】

ステップS 8において、画像処理部26は、2次記憶部25に記憶されている音線データに基づいて2次元又は3次元画像データを構成すると共に、ゲイン調整、階調処理等の画像処理を施す。次に、ステップS 9において、表示部27は、画像処理された画像データを走査変換することにより、超音波画像をディスプレイに表示する。

【0042】

図8及び図9は、本実施形態に係る超音波送受信装置を適用することによって得られた音圧強度プロファイルを示している。これらの音圧強度プロファイルは、0.35mm角の複数の素子を0.45mmピッチで配列した超音波トランスデューサアレイから、中心周波数2.5MHz、5波連からなるのサイン波を送信するという条件の下で送受信の音圧強度分布をシミュレーションすることにより得られたものである。

【0043】

図8の（a）は、音線の角度が $\theta = \phi = 0^\circ$ の超音波ビームを形成するために、素子の実効開口直径1.4mmとして単位ビームの指向性を強くした場合における音圧強度プロファイルである。また、図8の（b）は、比較のために、素子の実効開口径を0.35mmとして単位ビームの指向性を弱くした場合における音圧強度プロファイルである。図8より明らかなように、音線の角度が小さい場

合には、単位ビームの指向性を強くすることにより、サイドローブ成分が全体的に低減されている。

【0044】

図9の(a)は、音線の角度が $\theta = \phi = 32.5^\circ$ の超音波ビームを形成するために、素子の実効開口直径1.4mmとして単位ビームの指向性を強くした場合における音圧強度プロファイルである。また、図9の(b)は、素子の実効開口径を0.35mmとして単位ビームの指向性を弱くした場合における音圧強度プロファイルである。図9の(a)と(b)とを比較して明らかなように、音線の角度が大きい場合には、単位ビームの指向性を弱くすることにより、メインローブの強度が維持されていることがわかる。また、図9の(b)には、図9の(a)の中央付近におけるようなサイドローブ成分の大きな領域は存在していない。

【0045】

以上、説明したように、本実施形態によれば、音線方向に応じて単位ビームの指向性を制御するので、走査領域全体に渡ってサイドローブ成分を低減することができる。また、本実施形態によれば、実効開口制御方式において、1つの単位ビームを形成するために複数の素子を用いるので、送信ビーム及び受信ビームの感度が向上するという利点もある。

【0046】

本実施形態においては、超音波ビームを送信する時と、受信された超音波エコーについて受信フォーカス処理を行う時との両方において単位ビームの指向性を制御した。しかしながら、送信又は受信のいずれかにおいて単位ビームの指向性を制御すれば、サイドローブ成分を低減することは可能である。

【0047】

また、超音波ビームの送信及び受信の際に、異なる指向性制御パターンをそれぞれ用いても良い。送信時と受信時とにおいて、単位ビームを形成する素子の実質的な開口径を変更することにより、送信ビームの音圧強度プロファイルに対して異なる受信ビームの音圧強度プロファイルが得られる。そこで、例えば、送信及び受信においてサイドローブ成分が相殺されるような音圧強度プロファイルが

得られるように指向性制御パターンを選択することにより、全体としてサイドローブ成分を低減することができる。

【0048】

さらに、1つの単位ビームに寄与する複数の素子を重み付けして駆動することにより、超音波の送信又は受信を行っても良い。ここで、重み付けとは、素子を駆動する波形の強度を重み付けることをいう。これにより、単位ビームの指向性をさらに強くすることができるので、サイドローブ成分をさらに低減することができる。重み付けする場合には、例えば、送信遅延パターン記憶部12又は受信遅延パターン記憶部23に重み付けパターンを記憶させておき、走査制御部11が指向性制御パターンを選択する際に、一緒に重み付けパターンを選択し、それらを掛け合わせて用いれば良い。或いは、超音波トランスデューサアレイ10に含まれる複数の素子全体に対して重み付けを行っても良い。さらに、素子全体に対する重み付けと単位ビームを形成する複数の素子に対する重み付けとを組み合わせても良い。重み付けパターンとしては、ガウス分布等が用いられる。

或いは、グルーピングされた複数の素子の間で遅延時間が生じるように、指向性制御パターンを作成しても良い。これにより、単位ビームの指向性をさらに強くすることができる。

【0049】

本実施形態においては、単位ビームの指向性を制御する際に、図6の(b)に示す実効開口制御方式を用いた。しかしながら、この方式においては、1つの素子を短時間に複数回駆動するので、各素子の駆動負荷が大きくなるおそれがある。そのような場合には、図10に示すような開口制御方式を用いても良い。開口制御方式とは、素子の開口径を変更することにより単位ビームの指向性を制御する方式であって、且つ、隣接して形成される単位ビームの間に素子を重複して用いることはしない。即ち、図10に示すように、各素子は1つのグループにのみ含まれる。これにより、素子に対する駆動負荷を低減することができ、また、駆動制御系の回路を簡単にすることができる。なお、開口制御方式を用いると、実効開口制御方式の場合と比較して、単位ビームの間隔が大きくなってしまう。そのため、グレーティングローブが発生するおそれがある。従って、超音波周波数

との関係を考慮しながら単位ビームの間隔、即ち、グルーピングされる素子数を設定することが望ましい。

【0050】

本実施形態においては、複数の素子が2次元マトリクス状に配置された超音波トランスデューサアレイを用いたが、素子の配置はこれに限られず、その他の態様で配置された超音波トランスデューサアレイを用いても良い。また、複数の素子が1次元に配置された超音波トランスデューサアレイを用いても良い。

【0051】

次に、本発明の第2の実施形態に係る超音波送受信装置について、図11を参照しながら説明する。本実施形態は、異なる複数の方向に複数の超音波ビームを同時に形成するマルチビーム送受信において、単位ビームの指向性を制御するものである。なお、装置の構成については、図5に示すものと同様である。

【0052】

図11の(a)は、超音波トランスデューサアレイのアレイ中心を $\theta = \phi = 0^\circ$ とし、形成される複数の音線方向を角度で示したものである。図11の(a)に示すように、走査領域5に向けて16の超音波ビームTX1～TX16を同時に送信し、1つの方向について受信フォーカス処理を行うことを考える。この場合に、音線の角度が小さい中央付近に送信される4つの超音波ビームTX6、TX7、TX10、TX11を、指向性の強い単位ビームによって形成し、それ以外の方向に送信される超音波ビームを、指向性の弱い単位ビームによって形成する。

【0053】

図11の(b)は、そのような設定の下でシミュレーションを行うことによって求められた音圧強度プロファイルを示している。また、図11の(c)は、比較のために、全ての超音波ビームを指向性の弱い単位ビームによって形成した場合における音圧強度プロファイルを示している。図11の(b)及び(c)より明らかなように、音線方向に応じて指向性の異なる単位ビームを組み合わせた方が、全体的にサイドローブ成分が低減されている。特に、音線の角度が大きい方向においては、違いが顕著となっている。

【0054】

一般的に、マルチビーム送受信を行う場合には、1つの音線方向に超音波ビームを形成する場合と比較して、サイドローブ成分が高くなる傾向にある。しかしながら、本実施形態によれば、音線方向に応じて、各超音波ビームを形成する単位ビームの指向性を制御するので、広い範囲に渡って、サイドローブ成分を低減しつつ、撮像領域全体を高速に走査することができる。

【0055】

本実施形態においては、複数の方向に複数の超音波ビームをそれぞれ送信し、受信された超音波エコーについて1つの受信焦点を形成するように受信フォーカスを施す場合について説明した。しかしながら、受信された超音波エコーについて、複数の方向に受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を行っても良い。例えば、複数の送信ビームに対応する方向に複数の受信焦点をそれぞれ形成するように、受信フォーカス処理を行っても良い。その場合には、受信フォーカス処理を行う際にも、受信焦点が形成される音線方向に応じて単位ビームの指向性を制御することが望ましい。

【0056】

また、図12の(a)に示すように、1つの方向に超音波ビームTXを送信し、複数の方向に受信焦点F1～F3が形成されるように受信フォーカス処理を施しても良い。その際には、音線方向に応じて送信ビームを形成する単位ビームの指向性を制御することが望ましい。また、受信フォーカス処理を行う際に、単位ビームの指向性を制御しても良い。この場合には、1つの方向にのみ超音波ビームを送信するので、マルチビーム送信の場合と比較してサイドローブ成分を抑制することができる。また、受信された超音波エコーについて複数の受信焦点を形成するので、撮像領域を高速に走査することができる。

【0057】

さらに、図12の(b)に示すように、複数の方向に複数の超音波ビームTXA及びTXBをそれぞれ送信し、これらの送信ビームTXA及びTXBに対して、複数の方向に受信焦点FA1～FA3及びFB1～FB3が形成されるように、受信フォーカス処理を施しても良い。この場合には、サイドローブ成分を抑制

するために、送信ビームの距離を離すことが望ましい。その際に、それぞれの音線方向に応じて、送信ビームを形成する単位ビームの指向性を制御する。また、受信フォーカス処理を行う際にも、単位ビームの指向性を制御しても良い。

【0058】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、超音波ビームを形成する複数の単位ビームの指向性を、音線方向に応じて制御する。これにより、走査領域全体に渡ってサイドローブ成分が低減されるので、SN比の高い検出信号を得ることができる。従って、そのような検出信号に基づいて、画質の良い超音波画像を取得することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

指向性の強い単位ビーム及び指向性の弱い単位ビームを用いて音線の角度が小さい超音波ビームをそれぞれ形成した場合における音圧強度プロファイルである。

【図2】

音線の角度が小さい超音波ビームが形成される原理を説明するための図である。

【図3】

指向性の強い単位ビーム及び指向性の弱い単位ビームを用いて音線の角度が大きい超音波ビームをそれぞれ形成した場合における音圧強度プロファイルである。

【図4】

音線の角度が大きい超音波ビームが形成される原理を説明するための図である。

【図5】

本発明の第1の実施形態に係る超音波送受信装置の構成を示すブロック図である。

【図6】

図 7 の (a) は、素子の通常の駆動方式を説明するための図であり、図 7 の (b) は、素子の実効開口制御方式を説明するための図である。

【図 7】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波送受信方法を示すフローチャートである。

【図 8】

図 8 の (a) は、指向性の強い単位ビームによって得られた音線の角度が小さい超音波ビームの音圧強度プロファイルであり、図 8 の (b) は、指向性の弱い単位ビームによって得られた音線の角度が小さい超音波ビームの音圧強度プロファイルである。

【図 9】

図 9 の (a) は、指向性の強い単位ビームによって得られた音線の角度が大きい超音波ビームの音圧強度プロファイルであり、図 9 の (b) は、指向性の弱い単位ビームによって得られた音線の角度が大きい超音波ビームの音圧強度プロファイルである。

【図 1 0】

素子の開口制御方式を説明するための図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 の実施形態に係る超音波送受信装置における超音波ビームの送信方法を説明するための図である。

【図 1 2】

図 1 2 の (a) は、超音波ビームの 1 つの送信方向について、複数の受信焦点が形成されている様子を示す図であり、図 1 2 の (b) は、複数の送信方向の各々について複数の受信焦点が形成されている様子を示す図である。

【図 1 3】

図 1 3 の (a) は、従来の超音波探触子に含まれるトランスデューサの構造とそこから送信される超音波ビームを示す模式図であり、図 1 3 の (b) は、それぞれの超音波トランスデューサに印加されるタイミングパルスを示す図である。

【符号の説明】

5 走査領域

10 超音波トランスデューサアレイ

10 a、10 b、… 超音波トランスデューサ（素子）

11 走査制御部

12 送信遅延パターン記憶部

13 送信制御部

14 駆動信号発生部

15 送受信切換部

21 信号処理部

22 1次記憶部

23 受信遅延パターン記憶部

24 受信制御部

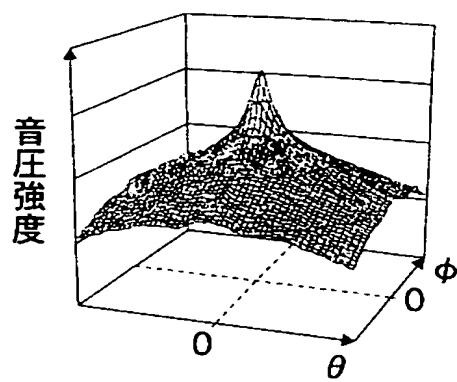
25 2次記憶部

26 画像処理部

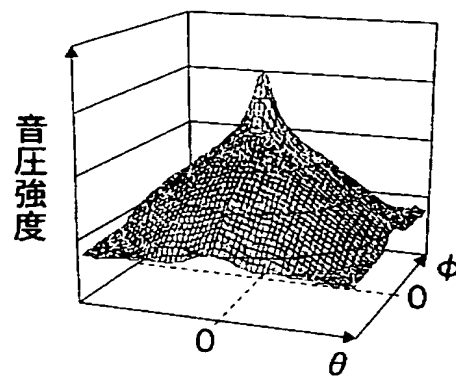
27 表示部

【書類名】 図面

【図1】

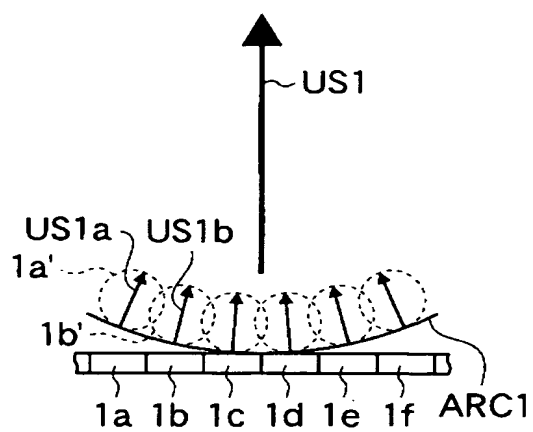


(a)

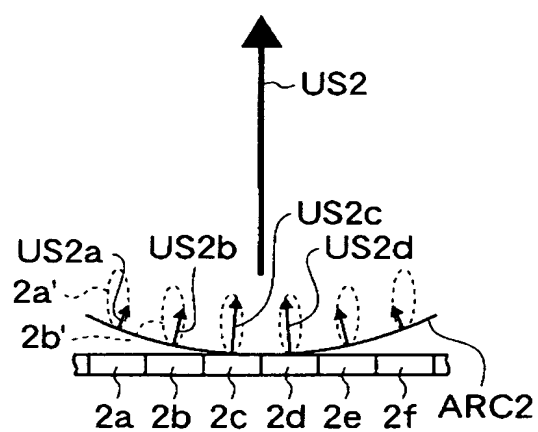


(b)

【図2】

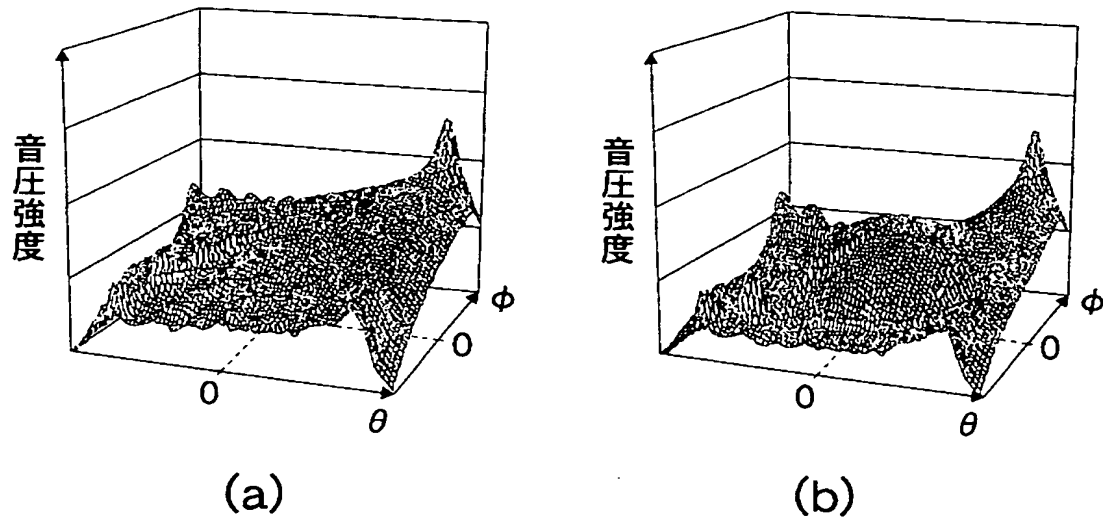


(a)

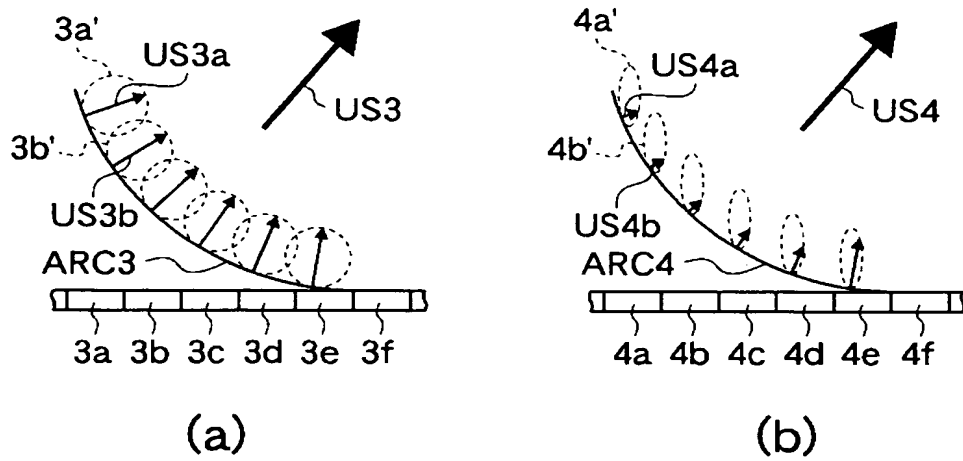


(b)

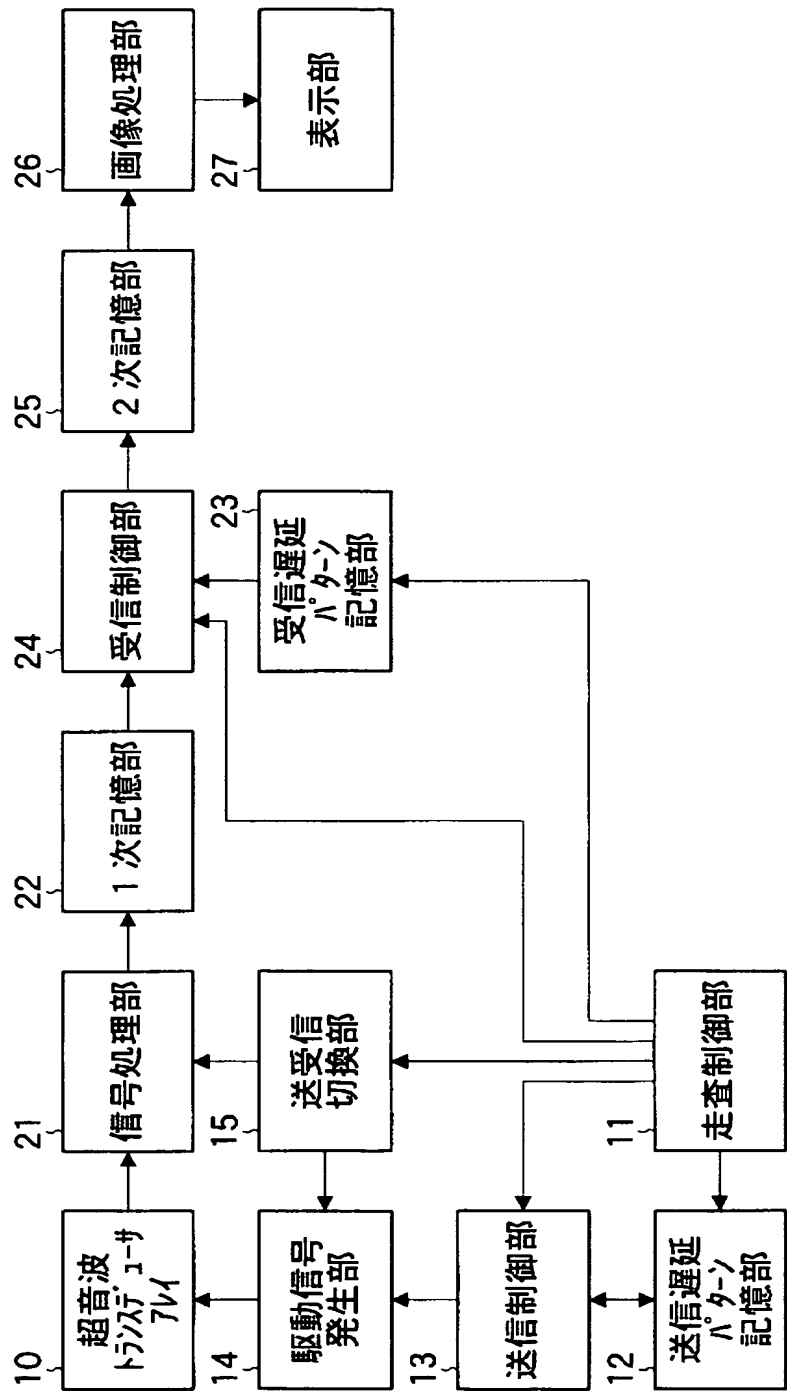
【図 3】



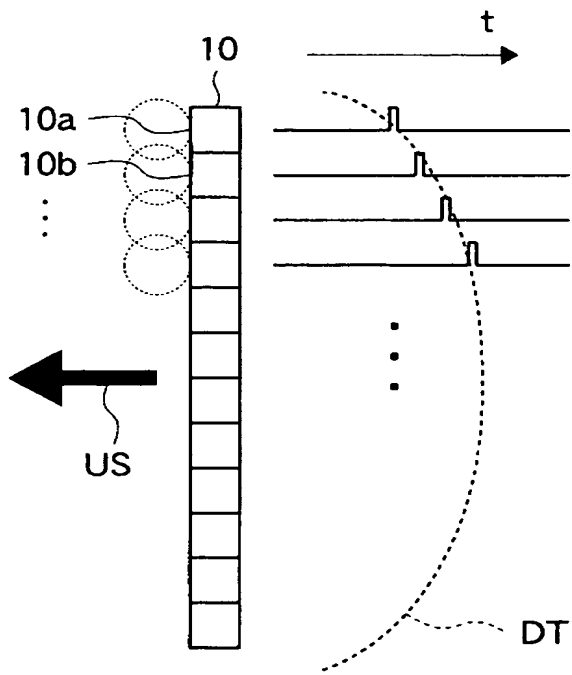
【図 4】



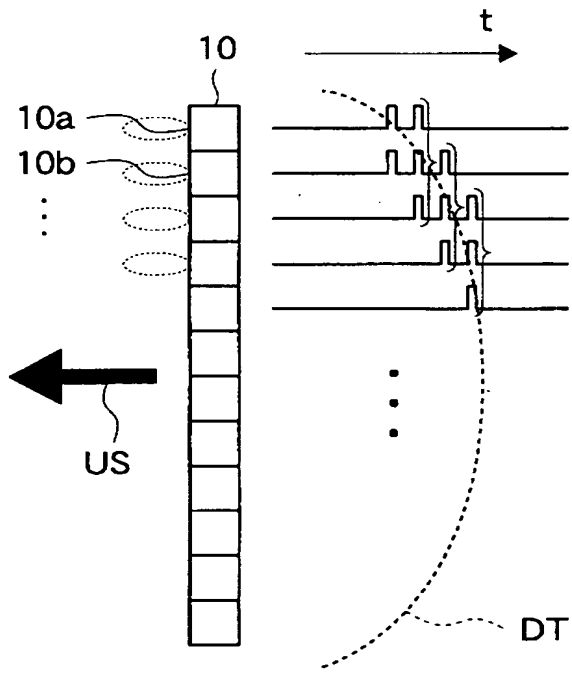
【図 5】



【図 6】

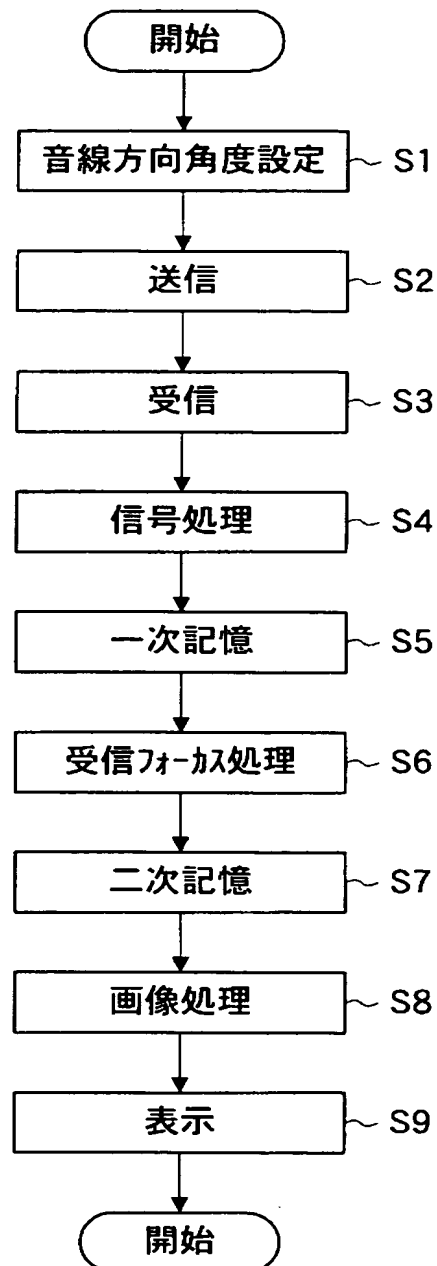


(a)

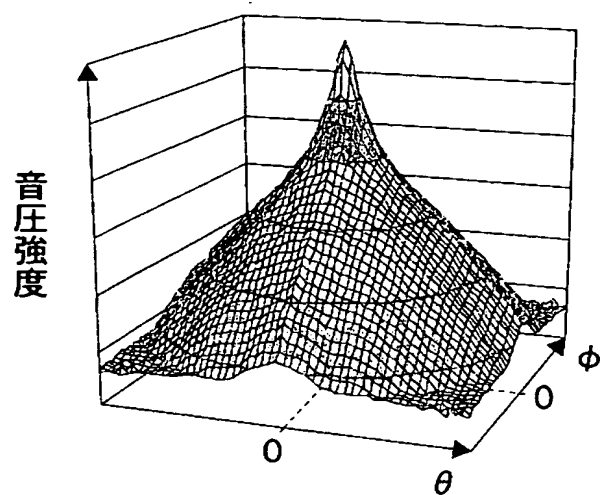


(b)

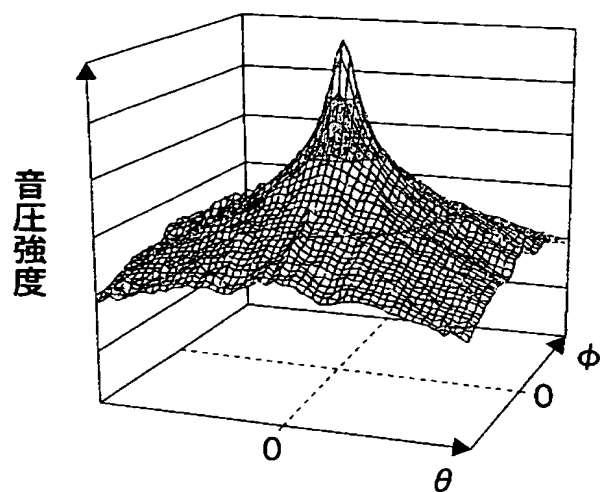
【図 7】



【図 8】

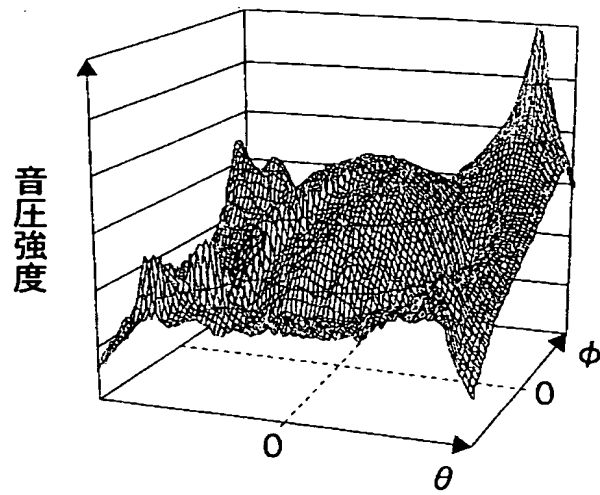


(a)

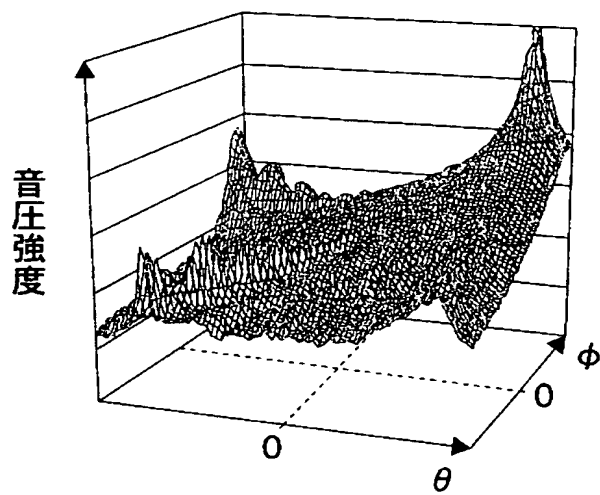


(b)

【図 9】

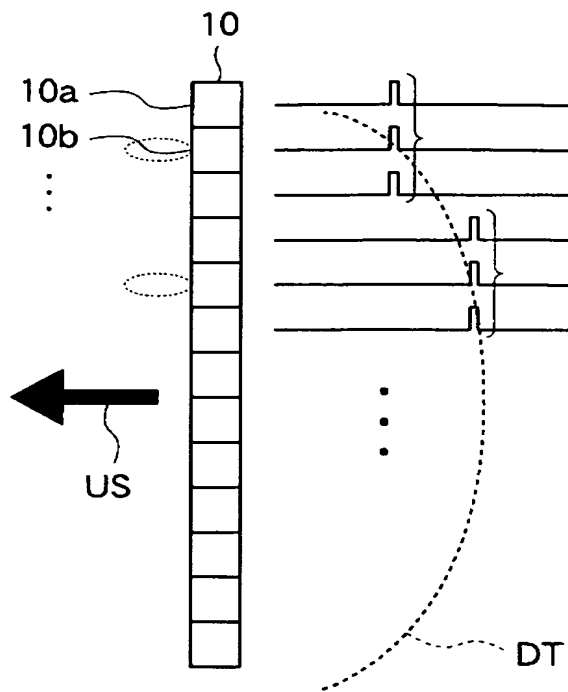


(a)

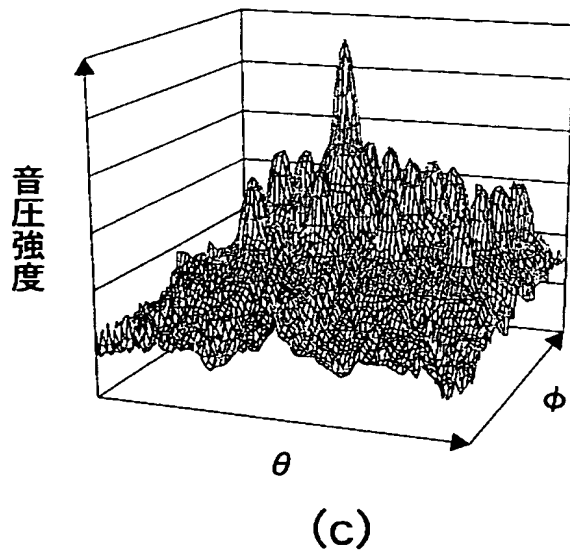
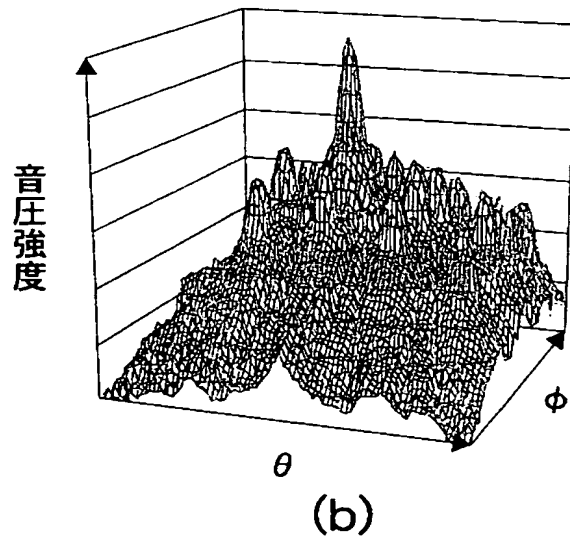
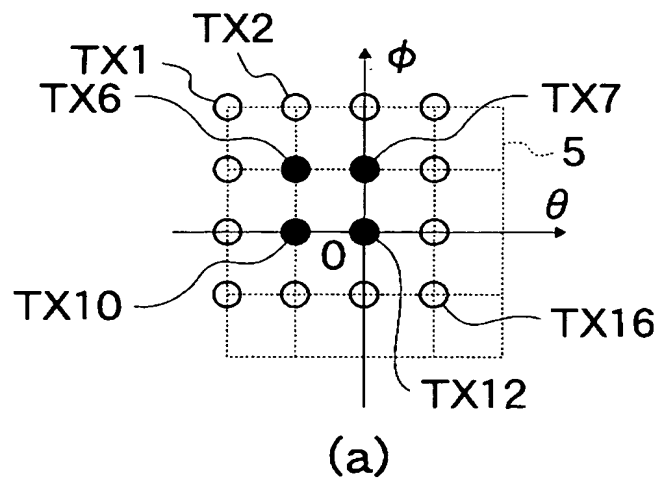


(b)

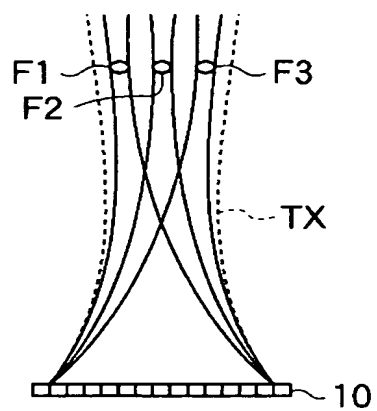
【図 10】



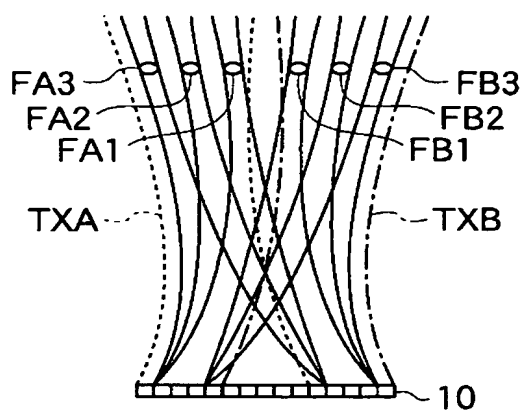
【図 11】



【図 12】

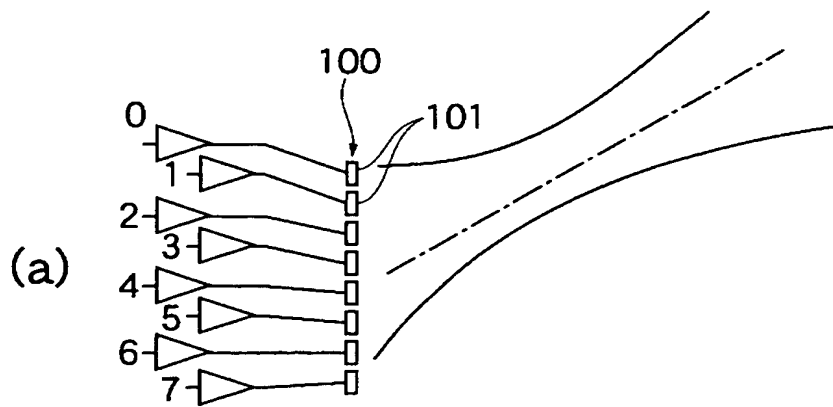


(a)

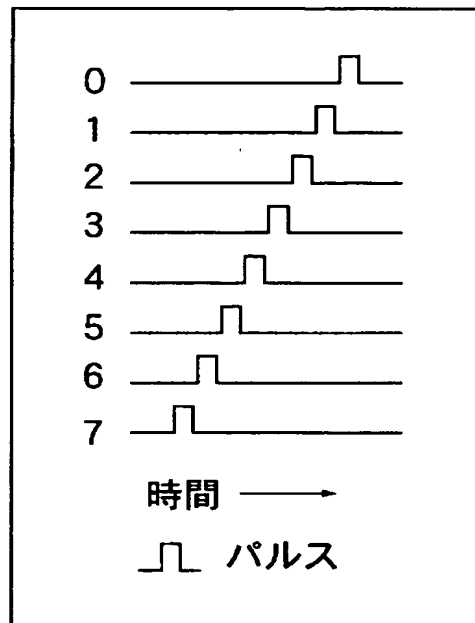


(b)

【図 13】



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 サイドローブによる影響が低減された画質の良い超音波画像を得ることができる超音波送受信装置を提供する。

【解決手段】 超音波を送信し、被検体から反射された超音波を受信する複数の素子を含む超音波トランスデューサアレイ 10 と、複数の素子をそれぞれ駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生部 14 と、複数の素子から送信される超音波が少なくとも 1 つの方向に送信される超音波ビームを形成するように、駆動信号発生部 14 を制御する送信制御部 13 と、複数の素子によって受信された超音波に基づいて得られた複数の検出信号に対して少なくとも 1 つの方向に受信焦点を形成するように受信フォーカス処理を施す受信制御部 24 と、超音波ビームの音線方向に従って、該超音波ビームを構成する複数の超音波成分の指向性を変化させる走査制御部 11 とを含む。

【選択図】 図 5

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 8 1 3 1 7
受付番号	5 0 3 0 0 4 7 5 0 1 3
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 3 月 2 5 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成 15 年 3 月 24 日
-------	------------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 8 1 3 1 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 0 1]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地

氏 名

富士写真フイルム株式会社